

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

(54) LOW-REFRACTIVE-INDEX OPTICAL NONLINEAR POLYMER MATERIAL

(11) 5-142600 (A) (43) 11.6.1993 (19) JP
 (21) Appl. No. 3-328285 (22) 18.11.1991
 (71) NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>
 (72) MICHİYUKI AMANO(2)
 (51) Int. Cl.⁵ G02F1/35, C08G18/28, C08G18/70, C08G63/00, C08G69/00

PURPOSE: To provide an org. optical nonlinear material capable of being formed into an optical waveguide or optical element in conformity to a quartz-waveguide optical information processing system.

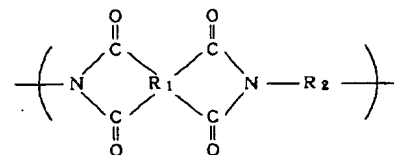
CONSTITUTION: A component having a nonlinear optical effect is linked to a polymer chain as the branched chain to constitute the polymer material, and fluorine is incorporated in the structural unit of the polymer chain. Fluorinated polyurethane, polyester, polyimide, polyamide, polycarbonate and polyether are exemplified as the basic structure of the polymer material. An optical nonlinear element excellent in characteristic is formed by combining the material with the various optical waveguide mediums contg. quartz.

(54) OPTICAL NONLINEAR MATERIAL

(11) 5-142601 (A) (43) 11.6.1993 (19) JP
 (21) Appl. No. 3-328289 (22) 18.11.1991
 (71) NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>
 (72) MICHİYUKI AMANO(4)
 (51) Int. Cl.⁵ G02F1/35, C08G73/10

PURPOSE: To provide a polymer material having a great optical nonlinear effect, excellent heat resistance, and low optical loss.

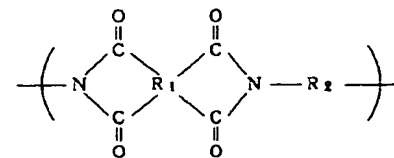
CONSTITUTION: This optical nonlinear material consists of an optical nonlinear material coupled with a polymer compd. expressed by formula. In formula, R₁ and R₂ have at least one benzene ring and at least one of them contains fluorine. As an example of the optical nonlinear material to be coupled, such a material having an electron attracting group and an electron donating group at the ends of molecule is connected with π -electron conjugate cyclic compd. and X=Y group (wherein X, Y is CH, N, or N \rightarrow O). Thereby, the obtd. material is useful for second-order or third-order optical nonlinear effects.

**(54) OPTICAL NONLINEAR MATERIAL**

(11) 5-142602 (A) (43) 11.6.1993 (19) JP
 (21) Appl. No. 3-328345 (22) 18.11.1991
 (71) NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>
 (72) MICHİYUKI AMANO(4)
 (51) Int. Cl.⁵ G02F1/35, C08G73/10

PURPOSE: To provide a polymer material having a great optical nonlinear effect, excellent heat resistance, and low optical loss.

CONSTITUTION: This optical nonlinear material consists of a polymer compd. expressed by formula. In formula, R₁ is a group having one or more benzene rings and R₂ is a bivalent group to which an electron attracting group and/or electron donating group is coupled with necessarily a fluorine-contg. alkylene group or alkylene group. The electron attracting group and electron donating group are coupled with a π electron conjugate cyclic compd. Further, at least one of R₁ and R₂ contains fluorine. Thereby, the obtd. material is useful for second-order or third-order optical nonlinear effects.



(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-142600

(43)公開日 平成5年(1993)6月11日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35	5 0 4	7246-2K		
C 0 8 G 18/28	N D P	8620-4 J		
18/70	N F D	8620-4 J		
63/00	N L K	7211-4 J		
69/00	N R B	9286-4 J		

審査請求 未請求 請求項の数1(全 6 頁)

(21)出願番号	特願平3-328285	(71)出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号
(22)出願日	平成3年(1991)11月18日	(72)発明者	天野 道之 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(72)発明者	栗原 隆 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(72)発明者	戒能 俊邦 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(74)代理人	弁理士 中本 宏 (外2名)

(54)【発明の名称】 低屈折率光非線形高分子材料

(57)【要約】

【目的】 有機光非線形材料を石英導波路系の光情報処理システムに適応した形で光導波路化又は光素子化できる材料を提供する。

【構成】 非線形光学効果を有する成分が高分子鎖に分岐状に結合した高分子材料において、この高分子鎖を構成する構造単位中にフッ素が含有されている低屈折率光非線形高分子材料。光非線形高分子材料の基本構造の例としては、各フッ素化したポリウレタン、ポリエステル、ポリイミド、ポリアミド、ポリカーボネート及びポリエーテルがある。

【効果】 石英系を含む各種光導波媒体との組合せにより、優れた特性の光非線形素子を構成することができる。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 非線形光学効果を有する成分が高分子鎖に分岐状に結合した高分子材料において、この高分子鎖を構成する構造単位中にフッ素が含有されていることを特徴とする低屈折率光非線形高分子材料。

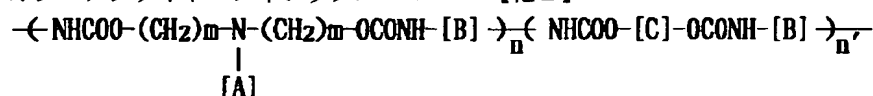
【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光信号処理、光情報処理に用いられる光非線形素子材料に関する。

【0002】

【従来の技術】 昨今、入力光に対し、高速で大きな屈折率変化をもたらす物質が、将来の高速光信号処理システムを支える材料と考えられている。なかでも、有機光非線形材料は、大きな2次又は3次光非線形効果、耐光破壊性、易加工性を有することから、高効率高速光非線形素子材料として期待されている。これら有機材料を用いた光素子を、石英ガラス導波路により構築される光情報処理システムへ導入するには、その素子特性のほか、光素子導波路の屈折率値を考慮する必要がある。すなわち、石英ガラスと有機材料の光結合界面で良好な結合効率を得るため両者の屈折率（～1.46）が近い値となることが望ましい。また、有機光非線形材料を石英ガラス導波路と組合せた光素子（シングルモード導波路型）を作製する場合にも同様である。しかしながら、両屈折率の差は、現状では、0.1以上あり、有機光非線形素子の光情報処理システムへの導入は困難な状況にある。また、大きな光非線形性を有し、石英ガラスに近い屈折率値を持つ材料は開発されていない。既に、2次あるいは3次の光非線形性を有する材料は、薄膜化・導波路化の検討が行われており、コアクラッド構造を有するチャネル導波路の製作もなされているものの、石英ガラス光ファイバあるいは石英ガラス導波路との屈折率整合性についての材料的な検討はなされていない。例えば、従来から知られていた色素結合型のポリウレタン材料の中で、3次の効果を有するものとしては、特開昭63-175837号公報に詳しい。また2次の効果を有するものとしては、特開平3-121114号公報、あるいは、第39回高分子討論会予稿集、第39巻、第10号、第3474頁（1991）に詳しい。またポリエステル材料については、アプライド・フィジックス、レターズ（Appl. Phys. Lett.）、第58巻、第1131頁（1991）に詳しい。更に、ポリエーテル材料については、ジャーナル オブ アプライド フィジックス *



【0009】 式（化1）における〔A〕は、主に光非線形性を担う部分であり、ジスアゾ系あるいはトリスアゾ系あるいはテトラキスアゾ系あるいはイミン系あるいはビニル系の π 共役を有し、その末端にシアノ基あるいは

*（J. Appl. Phys.）、第69巻、第2568頁（1991）に記載されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、これら公知の材料は、その屈折率についてなんら配慮がなされていない。そのため、石英ガラス系導波媒体と組合せることによる光非線形素子として利用された例はない。本発明では、有機光非線形材料を石英導波路系の光情報処理システムに適応した形で光導波路化又は光素子化できる材料を提供することを目的とする。

【0004】

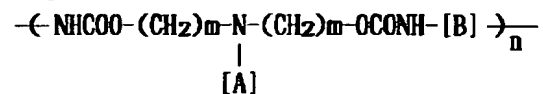
【課題を解決するための手段】 本発明を概説すれば、本発明は、有機光非線形材料を石英導波路系の光情報処理システムに適応した形で光導波路化するために、非線形光学効果を有する成分が高分子鎖に対して分岐状に結合した光非線形高分子材料において、高分子鎖を構成する構造単位中にフッ素を含有させることにより低屈折率化するものである。

【0005】 本発明の光非線形高分子材料の基本構造としては、フッ素化ポリウレタンあるいはフッ素化ポリイミドあるいはフッ素化ポリエステルあるいはフッ素化ポリアミドあるいはフッ素化ポリカーボネートあるいはフッ素化ポリエーテルが挙げられる。これらは、ウレタン結合、イミド結合、エステル結合、アミド結合、カーボネート結合、エーテル結合により、非線形光学効果を有する有機物質部とフッ素含有部を交互に結合し、容易に光非線形高分子材料のフッ素化が実現できる。更に屈折率を下げる場合には、非線形光学効果の若干の低下は免れないが、非線形光学効果を有する有機物質の一部をフッ素含有率の高い物質で置き換えることもできる。

【0006】 以下に、ポリウレタン構造の材料を例にして、より具体的に説明する。一般式（化1）は、本発明の一部であるポリウレタン型の低屈折率光非線形高分子材料を示すものである。一般式（化2）は、屈折率を更に低くするように設計された共重合ポリウレタン型の低屈折率光非線形高分子材料を示すものである。

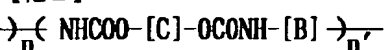
【0007】

【化1】



【0008】

【化2】



ニトロ基あるいはニトロビニル基あるいはシアノビニル基あるいはジシアノビニル基あるいはトリシアノビニル基などの電子吸引基を有することを特徴とする。また、主鎖構造の一部でありかつ〔A〕と直結した場合の窒素

は、〔A〕に対するジアルキルアミノ系電子供与基として作用し、〔A〕で示される色素の末端の電子吸引基との間の電荷移動効果により2次又は3次分子超分極率を増加する働きを持つ。また、〔A〕の中に π 共役系・電子吸引基及び電子供与基すべてを含む場合、主鎖構造中のメチレンに挟まれた窒素は、〔A〕を主鎖に結合するためのスペーサを結合させる部位となる。一方、〔B〕の部分は、フッ素を含有するジイソシアン酸化合物に由来する。ジイソシアン酸化合物としては、2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5-オクタフルオロ-1, 6-ジイソシアナトヘキサンあるいは2, 2-ビス(4-イソシアナトフェニル)ヘキサフルオロプロパンなどを挙げることができる。式(化2)における〔C〕は、フッ素含有率の高いジオール化合物に由来する。代表的なフッ素含有ジオールとしては、2, 2-ビス(4-ヒドロキシフェニル)ヘキサフルオロプロパン(略称:ビスフェノールAF)あるいは1, 4-ビス(2-ヒドロキシヘキサフルオロイソプロピル)ベンゼンなどを挙げることができる。ウレタン結合(—NHCOO—)の替りに、エステル結合(—COO—)あるいはアミド結合(—NHCO—)により高分子主鎖を構成すれば、それぞれ、ポリエステル型、ポリアミド型の低屈折率光非線形高分子材料を製造することができる。

【0010】また、ポリカーボネート型の低屈折率光非線形高分子材料については、光非線形性を担う〔A〕を含む原料(2つの水酸基を有する)とビスフェノールAFのような分子両端に水酸基を有するフッ素含有率の高い化合物の1:1混合物と2当量分のホスゲンを用いて製造することができる。

【0011】また、ポリエーテル型の低屈折率高分子材料については、光非線形性を担う〔A〕を含む原料(2つのアミノ基若しくは水酸基を有する)と分子両端にオキシラン基を有するフッ素化エポキシとを混合し加熱することにより製造できる。

【0012】フッ素化有機材料は、一般に、近赤外域(0.8~1.7 μ m)の光吸収が少ないことが知られている。したがって、本発明の光非線形材料を用いた光素子においては光情報処理システムの使用波長(1.3~1.55 μ m)での低損失化にも寄与することができる。

【0013】本発明の材料を3次光非線形材料として用いる場合には、更に操作を必要としないが、2次光非線形材料として用いる場合には分極処理が必要である。分極処理は、通常、試料のガラス転移温度以上の温度で直流電界を印加することにより行われる。電界印加は光素子、構成前、構成中、構成後いずれの時でもよく、電極を装着することにより、若しくはコロナ放電による帯電電荷により行う。

【0014】更に、本発明の光非線形高分子材料は、通*

* 常の高分子膜作製に適用されるスピコート法により、容易に数 μ m厚の透明膜を作製することができる。

【0015】本発明の光非線形高分子材料は、石英導波路上への装荷・石英光ファイバカップラ間の近接部位・導波路型光カップラ間の近接部位に充てんして用いることができる。また、微細加工技術を利用して高分子導波路を形成し、それ自体をコアとして使用することができる。屈折率の高い従来材料では、導波損失、結合損失の極めて大きい状況(膜厚数千オングストローム以下)でなければシングルモード化できなかった。しかしながら、本発明の低屈折率光非線形高分子材料では、基板に用いる石英ガラスとの屈折率差を非常に小さくでき、導波損失、結合損失が小さな状況(膜厚数 μ m以上)が可能になる。

【0016】

【実施例】以下、実施例に基づいて、本発明の材料とその光学特性について説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。本発明の材料の光非線形性は、第2高調波(SH波)若しくは第3高調波(TH波)から求めた2次光非線形定数 $[\chi^{(2)}]$ 若しくは3次光非線形定数 $[\chi^{(3)}]$ によって評価した。また、屈折率は、プリズムカップリング法若しくはエリブソメトリを用いて評価した。測定波長域は可視光域から1.6 μ mとした。導波損失値は、プリズム・カップリング法、すなわち、1.0 μ m前後の厚さの膜に、レーザ光を、プリズム結合により結合させ、散乱光強度の導波長依存性から求める方法、若しくは、カット・バック法、すなわち、導波路端面からレーザ光を直接入射し、出力光強度と導波路長さの関係から求める方法により決定した。

【0017】実施例1

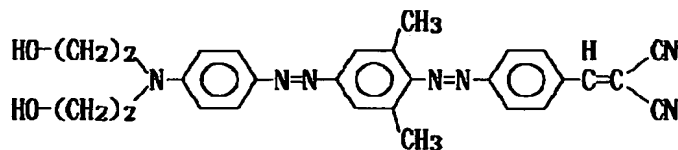
下記式(化3)~(化7)で表される化合物のいずれかと、2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5-オクタフルオロ-1, 6-ジイソシアナトヘキサンをそれぞれジメチルアセトアミドに溶かし、触媒としてジラウリン酸ジ-n-ブチルすずを加え、90℃で3時間反応させた。冷却後、反応液を多量の食塩水に注ぎ、対応するフッ素化光非線形ポリウレタン材料を得た。これを再度、再沈精製した後、ジメチルホルムアミド溶液とし、石英基板上にスピコート膜を作製した。これらフッ素化ポリウレタンフィルムの3光子共鳴 $\chi^{(3)}$ はそれぞれ、 0.9×10^{-10} esu、 1.5×10^{-10} esu、 1.4×10^{-10} esu、 0.4×10^{-10} esu、 0.4×10^{-10} esuであった。また、吸収端波長よりも長波長側での導波損失は、すべて1 dB/cm以下であった。これらの1.5 μ m帯の屈折率は、すべて1.45付近であった。

【0018】

【化3】

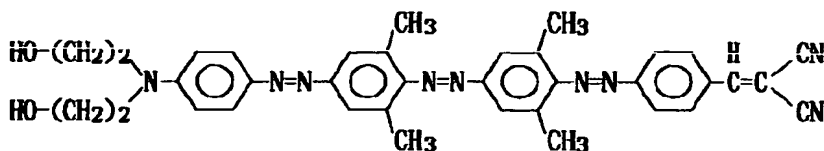
5

6



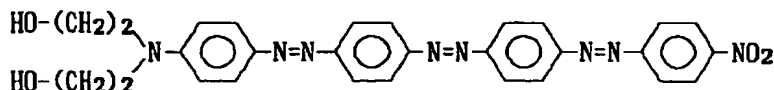
【0019】

【化4】



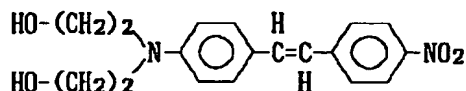
【0020】

【化5】



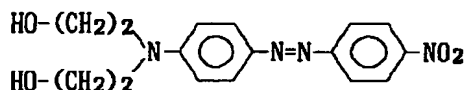
【0021】

【化6】



【0022】

【化7】



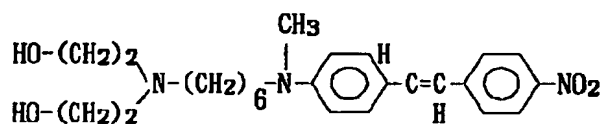
【0023】実施例2

下記式(化8)～(化12)で表される化合物のいずれかと2, 2-ビス(4-ヒドロキシフェニル)ヘキサフルオロプロパン(ビスフェノールAF)と2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5-オクタフルオロ-1, 6-ジイソシアナトヘキサンを3:2:5で、それぞれジメチルアセトアミドに溶かし、触媒としてジラウリン酸ジ-n-ブチルすずを加え、90℃で3時間、反応させた。冷却後、反応液を多量の食塩水に注ぎ、対応するフッ素化度を上げた光非線形ポリウレタン材料を得た。これを再度、再沈精製した後、ジメチルアセトアミド溶液とし、*

*石英基板上にスピコート膜を作製した。これらをコロナ放電により分極処理し、 $\chi^{(2)}$ を測定したところ、それぞれ、 $0.8 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $1.2 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $2.0 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $0.7 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $1.8 \times 10^{-6} \text{ esu}$ であった。また、吸収端波長よりも長波長側での導波損失は、 1 dB/cm 以下であった。 $1.5 \mu\text{m}$ 帯の屈折率は、 1.45 以下となった。

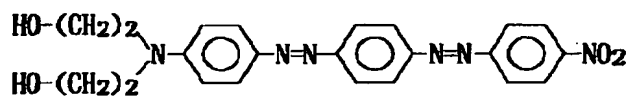
【0024】

【化8】



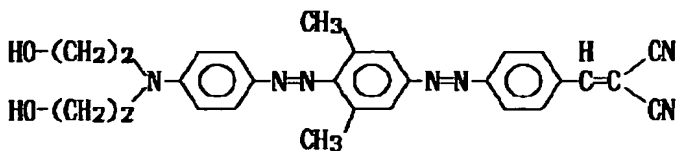
【0025】

【化9】



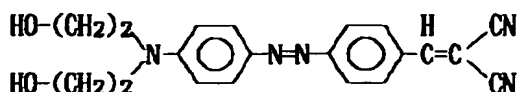
【0026】

【化10】



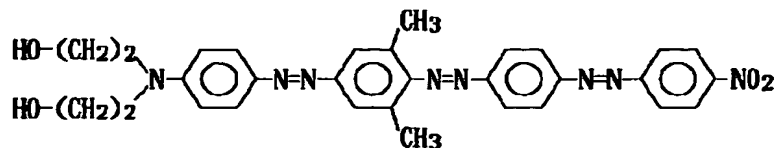
【0027】

【化11】



※【0028】

※【化12】



【0029】実施例3

前記式(化3)～(化7)で表される化合物のいずれかと2, 2-ビス(4-カルボキシルフェニル)ヘキサフルオロプロパン、ジシクロヘキシルカルボジイミドをそれぞれ無水ジメチルアセトアミドに溶かした。これを室温で5分間かくはんした後、0.4当量のジメチルアミノピリジンを加え、室温で一晩反応させた。反応液を多量のメタノールに注ぎ析出物をろ取した。対応するフッ素化ポリエステルはゲルクロマトグラフィにより精製した。厚さ220Åのポリエステルフィルムの3光子共鳴 $\chi^{(3)}$ はそれぞれ 0.9×10^{-10} esu、 1.4×10^{-10} esu、 1.5×10^{-10} esu、 0.3×10^{-10} esu、 0.4×10^{-10} esuの値を得た。また、吸収端波長よりも長波長側での導波損失はすべて1 dB/cm以下であった。1.5 μ m帯の屈折率は、すべて1.45付近であった。

【0030】実施例4

下記式(化8)～(化12)で表される化合物のいずれかと2, 2-ビス(4-カルボキシルフェニル)ヘキサフルオロプロパンの二酸クロライド化合物とを、それぞれテトラヒドロフラン中、トリエチルアミン存在下に反応させた。反応液を多量の水に注ぎ、析出物を回収し、再沈により精製した。更に、ゲルクロマトグラフィにより対応する高分子量のフッ素化ポリエステルを単離し *

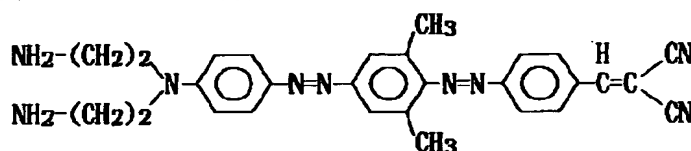
*た。スピンコートにより生成したポリエステルフィルムに電極を装着して1.2 MV/cmの電界を印加した。 $\chi^{(3)}$ はそれぞれ 0.7×10^{-6} esu、 1.1×10^{-6} esu、 1.9×10^{-6} esu、 0.7×10^{-6} esu、 1.7×10^{-6} esuの値を得た。また、吸収端波長よりも長波長側での導波損失はすべて1 dB/cm以下であった。1.5 μ m帯の屈折率は、すべて1.47付近であった。

【0031】実施例5

下記式(化13)～(化17)で表される化合物のいずれかと2, 2-ビス(4-カルボキシルフェニル)ヘキサフルオロプロパンの二酸クロライド化合物とをそれぞれ無水ジメチルホルムアミド中、トリエチルアミン存在下に反応させ、対応するフッ素化ポリアミドを製造した。厚さ280Åのフッ素化ポリアミドの3光子共鳴 $\chi^{(3)}$ はそれぞれ 0.9×10^{-10} esu、 1.4×10^{-10} esu、 1.5×10^{-10} esu、 0.3×10^{-10} esu、 0.3×10^{-10} esuの値を得た。また、吸収端波長よりも長波長側での導波損失は、すべて1 dB/cm以下であった。1.5 μ m帯の屈折率は、すべて1.45付近であった。

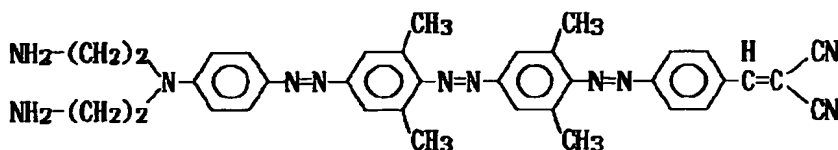
【0032】

【化13】



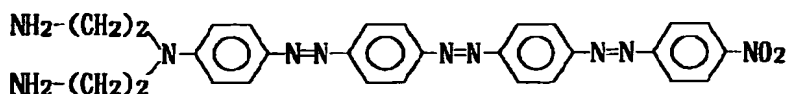
【0033】

【化14】



【0034】

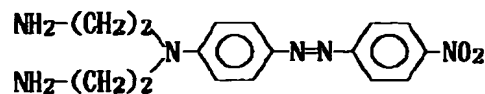
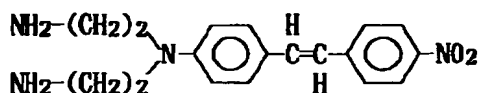
【化15】



【0035】

【化17】

【化16】



【0037】実施例6

【0036】

下記式(化13)～(化17)で表される化合物のいずれ

れかと2, 2-ビス(4-カルボキシルフェニル)ヘキサフルオロプロパンの二酸クロライド化合物とをそれぞれ無水ジメチルホルムアミド中、トリエチルアミン存在下に反応させ、対応するフッ素化ポリアミドを製造した。スピンコートにより生成したポリアミドフィルムに電極を装着して1.2MV/cmの電界を印加した。 $\chi^{(2)}$ はそれぞれ $2.1 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $1.9 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $1.8 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $1.0 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $1.1 \times 10^{-6} \text{ esu}$ の値を得た。また、吸収端波長よりも長波長側での導波損失は、すべて1dB/cm以下であった。1.5 μm 帯の屈折率は、すべて1.47付近であった。

【0038】実施例7

ビスフェノールAFと前記式(化8)～(化12)で表される化合物のいずれかとの1:1混合物のピリジン溶液に、それぞれ2当量のプロセグンを導入して、対応するフッ素化ポリカーボネートを製造した。厚さ220Åのフッ素化ポリカーボネートフィルムを3光子共鳴 $\chi^{(3)}$ はそれぞれ $0.3 \times 10^{-10} \text{ esu}$ 、 $0.7 \times 10^{-10} \text{ esu}$ 、 $0.8 \times 10^{-10} \text{ esu}$ 、 $0.3 \times 10^{-10} \text{ esu}$ 、 $0.9 \times 10^{-10} \text{ esu}$ の値を得た。また、吸収端波長よりも長波長側での導波損失は、すべて1dB/cm以下であった。1.5 μm 帯の屈折率は、すべて1.45付近であった。

【0039】実施例8

ビスフェノールAFと前記式(化8)～(化12)で表される化合物のいずれかとの1:1混合物のピリジン溶液に、それぞれ2当量のプロセグンを導入して、対応するフッ素化ポリカーボネートを製造した。それぞれのフッ素化ポリカーボネートフィルムに電極を装着して1.1MV/cmの電界下で分極処理した。それぞれの $\chi^{(2)}$ は $0.1 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $0.3 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $0.8 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $0.2 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $0.7 \times 10^{-6} \text{ esu}$ の値を得た。また、吸収端波長よりも長波長側での導波損失は、すべて1dB/cm以下であった。1.5 μm 帯の屈折率は、すべて1.45付近であった。

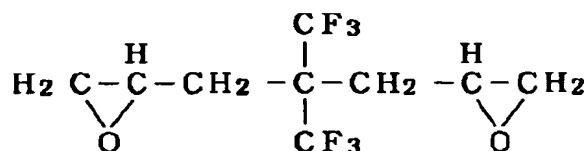
【0040】実施例9

下記式(化18)で表される化合物と、前記式(化3)～(化7)で表される化合物のいずれかとの、それぞれ等モル量混合し、100℃で1時間加熱し、対応するフッ素化ポリエーテルを合成した。厚さ280Åのフィル*

*μの3光子共鳴 $\chi^{(3)}$ はそれぞれ $0.9 \times 10^{-10} \text{ esu}$ 、 $1.2 \times 10^{-10} \text{ esu}$ 、 $1.5 \times 10^{-10} \text{ esu}$ 、 $0.2 \times 10^{-10} \text{ esu}$ 、 $0.2 \times 10^{-10} \text{ esu}$ の値を得た。また、吸収端波長よりも長波長側での導波損失は、すべて1dB/cm以下であった。1.5 μm 帯の屈折率は、すべて1.45付近であった。

【0041】

【化18】



【0042】実施例10

前記式(化18)で表される化合物と、前記式(化3)～(化7)で表される化合物のいずれかとの、それぞれ等モル量混合し、100℃で1時間加熱し、対応するフッ素化ポリエーテルを合成した。スピンコートにより生成したポリエーテルフィルムに電極を装着して1.2MV/cmの電界を印加した。 $\chi^{(2)}$ はそれぞれ $1.8 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $1.6 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $1.4 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $0.2 \times 10^{-6} \text{ esu}$ 、 $0.2 \times 10^{-6} \text{ esu}$ の値を得た。また、吸収端波長よりも長波長側での導波損失は、すべて1dB/cm以下であった。1.5 μm 帯の屈折率は、すべて1.45付近であった。

【0043】

【発明の効果】以上説明したように、本発明による光非線形高分子材料は、非線形光学効果が大きく、石英系導波媒体との整合性に関して屈折率制御が容易な上、低損失な導波路形成が可能である。したがって、本発明の光非線形高分子材料は、光非線形素子を構成するための高性能な光導波路材料として、広く用いることができる。更に、本発明材料は、石英光ファイバ、石英導波路などの石英系導波媒体のみならず、フッ化物ファイバや、プラスチック光ファイバあるいはプラスチック光導波路との屈折率整合性も容易に得られるため、これら光導波媒体との組合せによっても優れた特性の光非線形素子を構成することができる。本発明の低屈折率光非線形高分子材料を用いることによって実現しうる光非線形素子あるいは装置を具体的に例示するなら、高速EOスイッチ素子、ピコ秒光ゲート素子や導波路型高速光非線形カップラなどを挙げることができる。